视觉正常的自闭症儿童双眼注视点间距的特点及其意义

高世欢[1,2] 陈顺森[1] 苏彦捷[2] 林彩云[1,3]

([1]闽南师范大学教育科学学院，漳州 363000) ([2]北京大学心理与认知科学学院，北京 100871) ([3]广东金融学院心理健康教育与咨询中心，广州 510521)

摘 要 视网膜上物象对应的外在注视点之间的距离，即双眼注视点间距(distance of binoculars point of regard, DBPR)在自闭症谱系障碍(autism spectrum disorders，ASD)个体上存在异常的表现，而 ASD 个体伴随较高的斜视发病率，可能会对其双眼注视点间距产生影响。研究采用正弦曲线平滑追踪任务范式，探索视觉正常的 ASD 儿童在动态刺激加工过程中 DBPR 的鉴别意义。结果发现，ASD 儿童 DBPR 过大且具有跨任务类型的稳定性，且与斜视无关。DBPR 在大振幅、快速度的条件下具有优良的鉴别力，并与自闭症行为量表总分以及感知觉维度显著正相关。结果表明，双眼注视点间距具有良好的鉴别价值。

关键词 自闭症谱系障碍；平滑追踪任务；双眼注视点间距

1 引言

流行病学资料显示，自闭症谱系障碍（autism spectrum disorder, ASD）的患病率在 21 世纪之后显著升高。自闭症和发育障碍监测网络(Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, ADDM Network)显示，美国 2014 年 ASD 患病率由原来的 14.7‰上涨到 16.9‰，相比于 2012 年上升了 15%，相当于 68 名儿童中有 1 名 ASD 儿童增加到 59 名儿童中有 1 名 ASD 儿童(Baio et al., 2018)。国内尚未出现全国性的 ASD 流行病学资料，一项元分析显示，2011-2015 年中国 0~6 岁儿童 ASD 患病率 3.51‰，男女患病比例为 2.59:1(石慧峰, 张敬旭, 张嵘, 王晓莉, 2017)。ASD 患病率的持续上升对早期诊断提出了更高的要求，客观精确的诊断可以为干预和评估提供有效的指导。

《精神疾病诊断与统计手册（第五版）》(diagnostic and statistical manual of mental disorders, 5th Edition, DSM–V; American Psychiatric Association, 2013)突显了 ASD 感知觉异常表现在诊断方面的重要性。早期诊断 ASD 需诊断者具备丰富的临床经验，并结合有效的诊断工具，尽管如此还是会出现漏诊和误诊的现象。主要是因为诊断过程更多依赖于主观的经验和感受，特别是父母作为照料者在配合诊断时更容易出现光环效应，从而降低了诊断的有效性(Frazier et al., 2016)。因此，仍然需要更客观的指标来精确把握疾病的核心特点，从

收稿日期：2018-10-06
*国家社会科学基金教育类青年课题(CBA120104)资助
通讯作者：陈顺森，E-mail: shunsen@163.com；苏彦捷，E-mail: yjsu@pku.edu.cn

而对早期筛查和干预提供有效的指导。大量研究显示，眼动特征能在一定程度上弥补临床诊断的不足，从而更客观、量化地反映出视觉方面的异常(Falck–Ytter, Carlström, & Johansson, 2015; Moriuchi, Klin, & Jones, 2017)。相比生物反馈、皮肤电等其他仪器，眼动技术研究 ASD 患者的心理过程和大脑活动特点，具有更大的优势，特别是对语言功能障碍以及自制力差的低功能 ASD 患者。眼动技术具有非侵入性的特点(Falck–Ytter, Bölte, & Gredebäck, 2013)，不需要佩戴任何外接设备，大大提高了参与者测试过程中的舒适度，而这对具有皮肤敏感特点的 ASD 患者来说是很大的优势。

大量研究发现，不同年龄、不同症状程度的 ASD 患者都可能出现异常的感觉加工表现(Baum, Stevenson, & Wallace, 2015; Leekam, Nieto, Libby, Wing, & Gould, 2007)。视觉上的差异已经成为了早期鉴别 ASD 的可靠指标(Wass et al., 2015)。以往研究主要围绕对社交刺激的视觉回避，以及视觉偏好等方面，把 ASD 儿童注视社交刺激更少，并且注视非社交刺激时间更长作为鉴别依据(Pierce et al., 2016)，但研究结果还有待进一步考证。一方面，这种注视特点也可能是回避社交刺激的替代性表现，注视时长与注视点数并不能充分的解释 ASD 儿童出现视觉偏好的原因以及视觉神经生理上的缺陷。另一方面，社交刺激虽然可以提高实验的生态效度，但其内容的复杂程度很难得到有效的控制。研究证实了 ASD 儿童偏好非社交刺激(Moore et al., 2018)，并且 ASD 儿童偏好重复运动的非社交刺激与其重复刻板行为之间存在正相关(Wang et al., 2018)，由此我们以非社交刺激作为研究材料，探索新的眼动指标的鉴别意义。

有研究表明，ASD 儿童的双眼注视点间距（distance of binoculars point of regard, DBPR）显著大于典型发展(typically developing, TD)儿童(陈飞虎, 陈顺森, 赵广平, 2016; 高世欢, 陈顺森, 林彩云, 2017)，这一特点同样出现在包含社会性刺激的情境中（李龙珠, 2017)。ASD 儿童在眼动研究中的校准阶段经常出现对校准小球定位偏差较大的现象，并且在平滑追踪任务中 ASD 儿童很难对视觉目标进行有效追踪(Takarae, Luna, Minshew, & Sweeney, 2008)。神经生物学上证实了 ASD 患者早期就存在视网膜大细胞和小细胞信息转换的困难，这将会影响初级视觉皮层(V1 区)和次级视觉皮层(V2 区)对信息的接受与加工(McCleery, Allman, Carver, & Dobkinset, 2007)。ASD 患者在平滑追踪任务中表现较差，可能是 V1 区和额下回区域的功能联结减弱导致的(Villalobos, Mizuno, Dahl, Kemmotsu, & Müller, 2005)。但是少有研究考察 ASD 儿童双眼注视点间距在平滑追踪任务中的特点。因此，我们在平滑追踪任务中，探究 ASD 儿童的 DBPR 在目标追踪过程中与 TD 儿童是否存在的差异，并进一步考证 DBPR 的影响因素以及鉴别意义。

相关研究显示，DBPR 会受到斜视的影响。一项关于使用眼动仪对斜视患者的进行临床鉴别的研究显示，被确诊为外斜视的患者，其 DBPR 显著大于视觉正常的个体(Saisara, Boonbrahm, & Chaiwiriya, 2017)。所以在考虑 DBPR 在鉴别 ASD 儿童时，应该要确保其不存在斜视的问题。部分研究显示 ASD 患者斜视的发病率为 26.9%和 40%(Kabatas et al., 2015; Ikeda, Davitt, Ultmann, Maxim, & Cruz, 2013)，斜视造成的目标定位偏差，以及手眼协调能力的损伤表现在很多现实任务中(Lemer, 2009)，但 ASD 儿童 DBPR 的特点是否与其高发的斜视率有关仍未有定论。

综上所述，本研究希望通过比较 TD 儿童和 ASD 儿童 DBPR 的特点及影响因素，为早期诊断和干预提供客观、稳定的指标。国内外大量研究以高功能 ASD 患者为主，这反映了在 ASD 研究群体中不对称的现象，ASD 作为一个多维的谱系障碍，有增加必要对低功能 ASD 儿童的研究(Chakrabarti, 2017)。低龄低功能的 ASD 患儿由于缺乏语言能力，很难开展较为复杂的实验(Eagle, 2002)，但是他们的症状表现可能更具有代表性，其眼动数据具有重要的诊断价值(陈顺森, 2017)，并且生命早期的指标对早发现早干预更具有临床意义，对干预治疗的效果有直接的影响。据此，本研究通过实验设计，要求被试观看 6 段平滑追踪视频，记录 ASD 儿童和 TD 儿童观看视频的双眼注视点数据。斜视个体的双眼不能进行协同运动，其双眼注视点与注视目标之间的距离有明显差异，本研究招募的 ASD 儿童经过筛查不存在斜视问题，所以我们假设 ASD 儿童在平滑追踪任务中左右眼与目标的位置误差不存在差异(假设 1)；ASD 儿童追踪能力不足以及眼跳潜伏期长的表现与目标运动特征显著相关，并且在观看静态或者动态场景时 DBPR 显著大于 TD 儿童，我们假设 ASD 儿童的 DBPR 较 TD 儿童偏大，而且其鉴别力会受到振幅和速度的影响，速度越快，振幅越大，鉴别力越大(假设 2)；ASD 儿童具有异常的感知觉表现，视觉是最典型、最容易察觉的表现，因此，我们假设 DBPR 与 ASD 儿童感知觉异常表现存在显著的相关性(假设 3)。

2 方法

2.1 被试

根据 G-Power 软件计算样本量，在先验检验设定中等程度的效应量(0.25)，预计所需总样本量为 48 个。考虑到自闭症儿童的特殊性，本研究从某市自闭症康复机构招募 ASD 儿童 30 名，其中 5 名儿童因走动、哭闹等行为无法顺利完成实验，最终有效被试为 25 名，其中男孩 21 名，女孩 4 名，年龄介于 3 ~ 5 岁(M = 3.72, SD = 0.74)。所有被试排除器质性疾病，由专业精神科医生根据 DSM-V 等精神病诊断标准诊断为 ASD，并根据《儿童自闭症评定量

表》(*childhood autism rating scale*, CARS；Schopler, Reichler, Devellis, & Daly, 1980)进行再次评定，被试分数均大于 30 分。本研究经过伦理委员会批准，并在实验开始前，告知家长和机构相关事项，确保其知情同意权，由家长填写《儿童自闭症行为量表》 (*autism behavior checklist*, ABC; Krug, Arick, & Almond, 1980)，分数均在 53 分以上。

从某市幼儿园招募 25 名年龄和性别相匹配的 TD 儿童，其中男孩 21 名，女孩 4 名，年龄介于 3 ~ 5 岁之间(M = 3.78, SD = 0.79)，排除各种器质性疾病和精神病史。因低龄、低功能 ASD 儿童存在言语和理解功能障碍，难以进行智力测验，故未对两组儿童智力进行匹配。全部被试的视力或矫正视力均正常。

2.2 实验材料

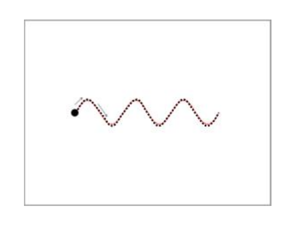
实验材料为 6 段视频，视频中在白色的背景上有一个黑色小球，其半径为 25 像素，将屏幕视为一个平面直角坐标系，其最左上角为坐标系原点(0, 0)，x 轴向右，y 轴向下。小球的初始坐标为(349, 525)，随后从左至右做正弦曲线运动，运动的水平距离为 984 像素。根据以往研究结果，当目标运动速度在 8°/s 以上时，ASD 个体和正常个体的追踪效果不受到目标运动速度的影响(Takarae, Minshew, Luna, Krisky, & Sweeney, 2004)。因此，设定水平方向上运动速度包括 2.5°/s、 5°/s、 7.5°/s。垂直方向做三个周期的简谐运动，垂直振幅包括小振幅 68 像素和大振幅 205 像素。根据 3 (速度) × 2 (振幅) 6 种条件制作六段视频。正弦曲线运动的视频，如图 1 所示。

2.3 实验仪器和程序

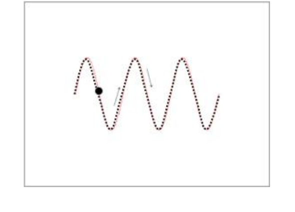
采用 SMI RED500 远程眼动仪及其软件 iView X 和 Experiment Center 呈现视频材料，并记录所有被试的数据，眼动仪由一台笔记本电脑控制，视频呈现屏幕分辨率为 1680 × 1050 像素。该眼动系统评价准确性为 0.5 水平，采样率为 500Hz，并设定分开记录双眼的坐标数据。借助屏幕上一个白色红心跳动的小球对双眼进行校准，在 1°视角内至少持续注视时间为 100ms 才确定为注视。

采用 2 (被试类型：ASD 儿童、TD 儿童) × 3(速度：2.5°/s、5°/s、7.5°/s) × 2 (振幅：68 像素、205 像素)三因素混合设计，其中被试为组间变量，速度和振幅为组内变量，因变量为追踪目标过程中的双眼注视点间距和位置误差。

主试 2 名，1 名负责操控电脑，1 名负责解释实验过程，具体程序见图 3。实验在安静、明亮的环境中进行，请家长配合协助。实验过程中，被试坐在距离屏幕 60cm 的椅子上或者家长的双腿上，实验采取个别施测方法。被试观看期间不要求进行判断。



小振幅正弦曲线运动



大振幅正弦曲线运动

图 1 两种振幅小球运动轨迹示例(注：实验过程中不呈现黑色曲线)

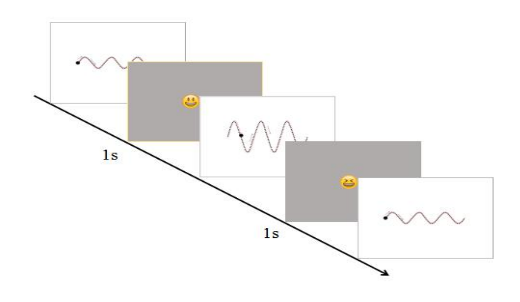


图 2 实验流程图

2.4 分析指标

研究记录所有被试原始数据中的注视点坐标，包括注视点的水平坐标(point of regard X, PRX)和垂直坐标(point of regard Y, PRY)。首先，以被试追踪过程中注视点与小球位置的累积误差作为分析指标，即均方根误差(root–mean–square error, RMSE)，该指标可以反应出被试双眼位置和相应目标运动位置的吻合度，其值反映了追踪目标的准确性(Gooding, Miller, & Kwapil, 2000)。以往研究把双眼的注视点平均为一个注视点之后再计算 RMSE 值(Valakos et al., 2018)。与之不同的是，本研究为进一步验证斜视是否会对追踪准确性有影响，所以对左右眼的 RMSE 值进行分开计算。RMSE 是注视偏差平方和再求平均并开方得到的(Bylsma & Pivik, 1989)，其表达式(1)和(2)中的 dt 为某次记录的注视点到目标中心的距离，n 为记录次数。坐标点(xt, yt)为某次记录时注视点位置，与之对应的是目标坐标(x0t, y0t)。

$$RMSE = [\sum dt^2/n]^{1/2} \qquad (1)$$

$$dt = [(xt - x0t)^2 + (yt - y0t)^2]^{1/2} \qquad (2)$$

同时，计算被试在追踪过程中屏幕上左右眼注视点之间的距离，即双眼注视点间距（DBPR），该指标可以反映出被试在追踪过程中双眼的运动特点。使用距离公式计算 DBPR 的值。DBPR 的表达式如下，R 代表右眼，L 代表左眼：

$$DBPR = [(PRXR - PRXL)^2 + (PRYR - PRYL)^2]^{1/2}$$

2.5 数据处理

应用 Matlab2016b 计算 RMSE 和 DBPR 的值，导入 SPSS 21.0 对数据进行整理和分析。

3 结果

3.1 两组儿童追踪小球运动位置误差

3.1.1 平均双眼注视点的位置误差

图 3 为 6 种条件下的左右眼位置误差描述性统计。差异检验结果显示，除了小振幅、2.5°/s 的条件之外，ASD 儿童和 TD 儿童平均双眼注视点的位置误差均有显著差异，TD 儿童在追踪小球运动位置方面更加精确。

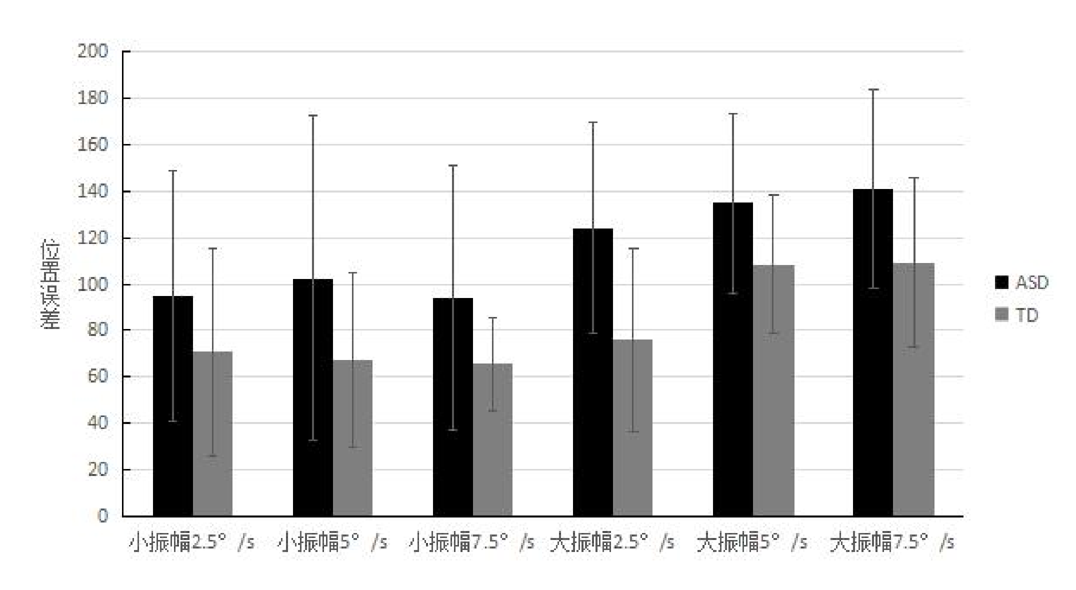


图 3 两组儿童平均双眼注视点的位置误差(单位：像素)

利用双因素混合效应模型对数据进行分析，结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 48) = 23.30$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.33$，说明 ASD 儿童追踪小球位置的误差显著大于 TD 儿童；小球振幅的主效应显著，$F(1, 48) = 46.60$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.49$，说明小球运动振幅增大，位置误差也随之增大；小球速度主效应不显著，$F(2, 96) = 2.68$，$p = 0.074$，$\eta_p^2 = 0.05$，被试类型与振幅的交互作用不显著，$F(1, 48) = 0.40$，$p = 0.532$，$\eta_p^2 = 0.01$；被试类型与速度的交互作用不显著，$F(2, 96) = 0.16$，$p = 0.851$，$\eta_p^2 = 0.003$；速度和振幅的交互作用不显著，$F(2, 96) = 2.87$，$p = 0.062$，$\eta_p^2 = 0.06$；被试类型、速度和振幅三者之间交互作用不显著，$F(2, 96) = 0.98$，$p = 0.379$，$\eta_p^2 = 0.02$。

3.1.2 左眼和右眼的位置误差

图 4、图 5 分别为 6 种条件下的左眼和右眼的位置误差描述性统计，差异检验结果显示，除了小振幅、2.5°/s 的条件之外，ASD 儿童和 TD 儿童左右眼追随小球运动的位置误差均有显著差异。

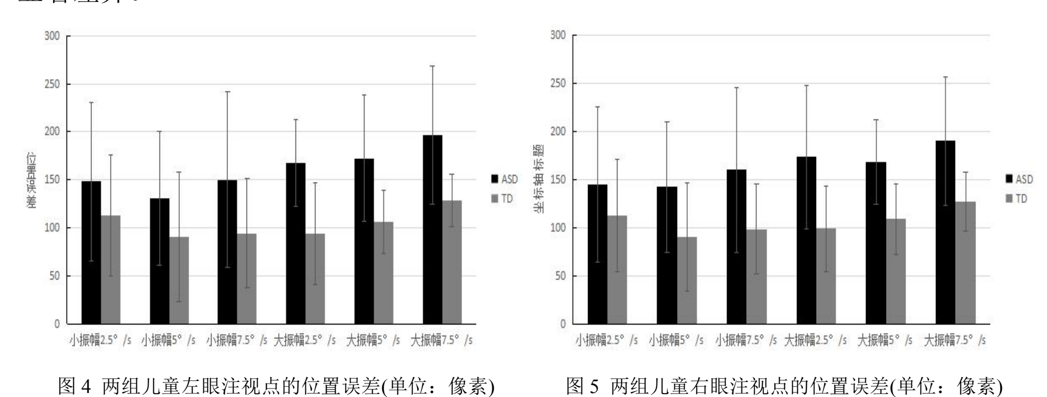


图 4 两组儿童左眼注视点的位置误差(单位：像素) 图 5 两组儿童右眼注视点的位置误差(单位：像素)

利用双因素混合效应模型对数据进行分析，结果显示，被试类型主效应显著，$F_{左}(1, 48) = 29.37$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.38$；$F_{右}(1, 48) = 27.26$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.36$，说明 ASD 儿童

追踪小球位置的误差显著大于 TD 儿童；小球振幅的主效应显著，$F_{左}(1, 48) = 7.08$，$p = 0.01$，$\eta_p^2 = 0.13$；$F_{右}(1, 48) = 10.48$，$p = 0.002$，$\eta_p^2 = 0.18$，说明小球运动振幅增大，位置误差也随之增大；小球速度主效应不显著，$F_{左}(2, 96) = 3.14$，$p = 0.052$，$\eta_p^2 = 0.12$；$F_{右}(2, 96) = 2.01$，$p = 0.146$，$\eta_p^2 = 0.08$；被试类型与振幅的交互作用不显著，$F_{左}(1, 48) = 1.72$，$p = 0.196$，$\eta_p^2 = 0.04$；$F_{右}(1, 48) = 1.98$，$p = 0.166$，$\eta_p^2 = 0.04$；被试类型与速度的交互作用不显著，$F_{左}(2, 96) = 3.14$，$p = 0.053$，$\eta_p^2 = 0.12$；$F_{右}(2, 96) = 3.03$，$p = 0.058$，$\eta_p^2 = 0.11$；速度和振幅的交互作用不显著，$F_{左}(2, 96) = 0.17$，$p = 0.839$，$\eta_p^2 = 0.01$；$F_{右}(2, 96) = 0.15$，$p = 0.859$，$\eta_p^2 = 0.01$；被试类型、速度和振幅三者之间交互作用不显著，$F_{左}(2, 96) = 0.45$，$p = 0.640$，$\eta_p^2 = 0.02$；$F_{右}(2, 96) = 0.44$，$p = 0.644$，$\eta_p^2 = 0.02$。

3.2 两组儿童双眼注视点间距的差异

两组儿童在 6 种条件下 DBPR 的具体描述，结果如表 1、图 6。

表 1 两组儿童注视点间距(单位：像素)[*M*(*SD*)]

条件		ASD	TD	95%CI
小振幅	2.5°/s	36.34(10.41)	26.77(6.57)	4.61~14.51
	5°/s	39.47(10.26)	28.54(6.94)	5.95~15.91
	7.5°/s	41.30(10.15)	29.83(7.12)	6.49~16.46
大振幅	2.5°/s	36.77(9.84)	27.89(6.09)	4.23~13.53
	5°/s	41.88(9.08)	28.36(5.80)	9.19~17.86
	7.5°/s	43.35(8.32)	29.20(6.18)	9.98~18.32

利用双因素混合线性模型对数据进行分析，结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 48) = 30.96$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.39$，说明 ASD 儿童 DBPR 大于 TD 儿童；小球速度主效应显著，$F(2, 96) = 20.27$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.30$；被试类型与速度交互作用显著，$F(2, 96) = 4.60$，$p = 0.012$，$\eta_p^2 = 0.09$，简单效应分析结果显示，在三种速度条件下，两组被试的 DBPR 均有显著差异($p < 0.001$)。ASD 儿童的 DBPR 在三种速度条件下差异显著，经事后比较发现，速度 2.5°/s 条件下的 DBPR 与速度 5°/s($p < 0.001$)和速度 7.5°/s($p < 0.001$)条件下的 DBPR 相比差异显著，前者显著低于后两者，后两者之间差异不显著($p = 0.258$)，说明不同速度对 ASD 儿童的 DBPR 有影响。TD 儿童的 DBPR 在三种速度条件下差异不显著($p = 0.087$)，说明不同速度对两组儿童的 DBPR 有不同的影响。小球振幅的主效应不显著，$F(1, 48) = 2.43$，$p = 0.126$，$\eta_p^2 = 0.05$，说明小球运动振幅对 DBPR 的影响不显著；被试类型与振幅的交互作用不显著，$F(1, 48) = 1.88$，$p = 0.177$，$\eta_p^2 = 0.04$；速度和振幅的交互作用不显著，$F(2, 96) = 0.08$，$p = 0.921$，$\eta_p^2 = 0.002$；被试类型、速度和振幅三者之间交互作用不显著，$F(2, 96) = 1.61$，$p = 0.205$，$\eta_p^2 = 0.03$。

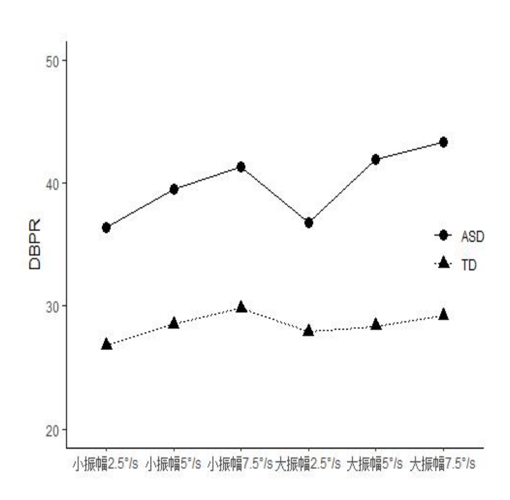


图 6 两组儿童不同条件下的 DBPR(单位：像素)

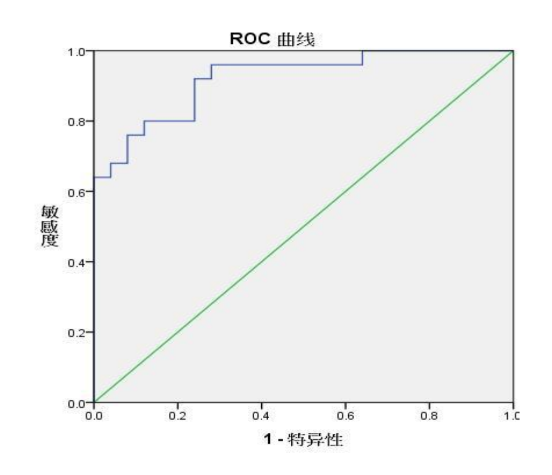


图 7 ASD 儿童大振幅、7.5°/s 速度条件下 DBPR 的 ROC 曲线图

3.4 ASD 儿童双眼注视点间距的 ROC 检验

对 ASD 儿童 DBPR 进行 ROC（receiver operating characteristic curve）检验，该检验方法以不同的检测值作为判断阳性、阴性结果(本研究中患有自闭症即为阳性结果)的阈值时可分别计算出相对应的特异度和敏感度，再以敏感度为纵坐标、(1-特异度)为横坐标绘制成曲线，曲线下面积越大，诊断准确性越高(张文彤, 闫洁, 2004)。结果显示(图 7、表 2)，在大振幅、7.5°/s 速度的条件下，DBPR 的鉴别力最大，其次为 5°/s 速度的小球运动；在两种振幅中，鉴别力最大的均为 7.5°/s 速度的小球运动，其他速度的鉴别力依次降低。张文彤和闫洁(2004)认为，ROC 曲线下面积在 0.9 以上表示鉴别价值较高。所以，大振幅、7.5°/s 速度和 5°/s 速度条件下，DBPR 的鉴别力较高，其余振幅和速度条件下，DBPR 的鉴别力均为中等水平。

表 2 两组被试 DBPR 的 ROC 检验结果

条件		面积	标准误	p 值	95% CI
小振幅	2.5°/s	0.79	0.06	<0.001	0.66～0.92
	5°/s	0.81	0.06	<0.001	0.69～0.93
	7.5°/s	0.82	0.06	<0.001	0.70～0.94
大振幅	2.5°/s	0.78	0.07	0.001	0.64～0.91
	5°/s	0.90	0.05	<0.001	0.82～0.99
	7.5°/s	0.92	0.04	<0.001	0.85～0.99

3.5 ASD 儿童双眼注视点间距与 ABC 量表的相关性

采用皮尔逊积差相关法分析 DBPR 与 ABC 量表总分及其各维度之间的关系，结果显示(表 3)，在所有速度和振幅条件下，DBPR 和 ABC 量表的总分和感知觉维度都显著相关，两种振幅中，2.5°/s 速度和 7.5°/s 速度 DBPR 与总分的相关性都高于 5°/s 速度的条件下；小振幅、2.5°/s 速度条件下的 DBPR 与交往、语言、自理这三个维度显著相关；小振幅、7.5°/s

速度和大振幅、2.5°/s 速度条件下的 DBPR 与交往、自理两个维度显著相关；大振幅、7.5°/s 速度条件下的 DBPR 与自理维度显著相关；在所有速度和振幅条件下，DBPR 和躯体运动维度的相关性均不显著。

表 3 双眼注视点间距与 ABC 量表及其各维度的相关[*r*(CI)]

		感知觉	交往	躯体运动	语言	自理	总分
小振幅	2.5°/s	0.73** (0.48~0.89)	0.54** (0.19~0.77)	0.23 (-0.18~0.57)	0.52** (0.16~0.76)	0.56** (0.22~0.78)	0.83** (0.64~0.92)
	5°/s	0.57** (0.23~0.79)	0.39 (-0.01~0.68)	0.28 (-0.13~0.61)	0.19 (-0.22~0.55)	0.39 (-0.04~0.66)	0.56** (0.21~0.78)
	7.5°/s	0.64** (0.33~0.83)	0.40* (0.01~0.69)	0.12 (-0.29~0.49)	0.29 (-0.12~0.62)	0.66** (0.36~0.84)	0.66** (0.35~0.84)
大振幅	2.5°/s	0.59** (0.25~0.80)	0.49* (0.11~0.74)	0.25 (-0.16~0.59)	0.35 (-0.06~0.65)	0.44* (0.05~0.71)	0.67** (0.38~0.84)
	5°/s	0.59** (0.25~0.80)	0.27 (-0.14~0.60)	0.19 (-0.22~0.55)	0.29 (-0.12~0.62)	0.36 (-0.04~0.66)	0.53** (0.17~0.77)
	7.5°/s	0.70** (0.42~0.86)	0.36 (-0.05~0.66)	0.03 (-0.37~0.42)	0.22 (-0.20~0.56)	0.58** (0.24~0.79)	0.58** (0.24~0.79)

注：$^{*}p < 0.05$，$^{**}p < 0.01$

4 讨论

4.1 平滑追踪任务中 ASD 儿童左眼、右眼运动特点

眼动仪对注视点的记录有两种方式，一种是把左右眼在屏幕上的注视坐标平均为一个点，前人的研究中多采用的是平均之后的坐标点，便于对位置误差和眼动增益值进行计算(Valakos et al., 2018；Karatekin, 2007)，另一种是分开记录左右眼的注视点坐标，从而对双眼协调运动的能力进行间接的判断(Wu et al., 2018)。鉴于 ASD 儿童存在斜视和左视野注视特点，本研究采用左右眼各自的原始注视点坐标，主要目的是为了研究 ASD 儿童双眼是否可以协调运动追踪目标。结果显示，ASD 儿童双眼在追踪目标小球运动的过程中，其精确定位的能力较差，追踪过程中偏离目标轨迹的注视点更多。ASD 儿童注意维持困难，实验过程中经常会出现突然转头、闭眼等现象，注视点会在这些时候大幅度偏离目标轨迹，导致其位置误差间接增大，而 TD 儿童除了普通的眨眼反射之外，几乎可以有效地进行全程追踪。

研究结果显示，左右眼位置误差在小振幅条件下小于大振幅条件下，这一表现符合原假设。正常情况下，小球的振幅会影响双眼追随的启动状态，追随范围过大会增加了追踪的难度(陈顺森等，2017)。ASD 儿童在两种振幅条件下的左右眼位置误差显著大于 TD 儿童，而左右眼之间的位置误差差异不显著，再一次证明了 ASD 儿童双眼是协同运动的。本研究振幅与被试类型之间交互作用不显著，表明两组儿童的在不同振幅条件下追踪结果是类似的。

总体上，在所有条件下，ASD 儿童左右眼对目标的追踪效果都不及 TD 儿童，位置误差更大，而这一障碍并不是因为斜视和左视野注视特点造成的。斜视分为内斜和外斜两种，伴随出现的分别是同侧性复视和交叉性复视，都会出现双眼视觉空间中的假象(张方华，1993)，斜视主要表现为左右眼注视点分别到达真实目标的距离有显著差异。但是研究发现，ASD 儿童左眼和右眼的注视点与目标之间的距离并没有显著差异。所以，排除注意力维持困难和多动的原因，说明本研究招募的 ASD 儿童不存在斜视的问题，双眼是协同运动的，追踪过程中位置误差大的表现与斜视无关。

4.2 ASD 儿童平滑追踪中双眼注视点间距的影响因素和潜在机制

两组儿童 DBPR 差异显著，ASD 儿童明显大于 TD 儿童，这一结果与之前研究结果相吻合，说明 ASD 儿童存在 DBPR 增大的表现，这一表现具有跨任务类型的稳定性。速度的主效应显著，DBPR 受到小球速度的影响，速度越快，DBPR 越大。速度和被试类型的交互效应显著，两组儿童在不同速度条件下的 DBPR 是有差异的。

有趣的是，振幅的主效应不显著，DBPR 并没有随着振幅的改变而发生变化，这可能与 ASD 儿童视觉转移和分离能力差(梁良, 2015)有关，双眼注视点不能从之前目标所在的位置发生转移，会造成与目标位置误差的增大，但注视点之间的距离因为没有发生跟随运动所以没有太大的变化，这就解释了位置误差受振幅影响但 DBPR 没有受到影响的原因。事实上，在实验过程中经常会发现，ASD 儿童的注视点短暂停留在小球之前经过的某个位置，然后再次追随小球运动。其余交互效应均不显著，表明在平滑追踪过程中，速度是影响两组儿童 DBPR 最主要的因素，这一结果与之前的研究结果相一致(高世欢等, 2017)。目标运动速度的加快，相对应的就会使调动双眼协调运动所需要的时间减少，造成双眼注视点间距变大。

ASD 儿童 DBPR 过大，这一表现潜在的机制可能是 ASD 患者更多依赖“自下而上”的视觉加工，这一表现与弱的中央统合理论相吻合(Lawson, Rees, & Friston, 2014)。有研究表明，整体的动态目标加工能力取决于任务的速度和持续时间(Hadad, Schwartz, Maurer, & Lewis, 2015)，而 ASD 儿童可能无法兼顾眼球追踪速度和视网膜成像，导致其始终都不能进行有效的追踪，说明其视觉加工本质上存在缺陷。有研究表明，正常人在对视觉信息加工时，更关注视觉中央刺激，但 ASD 患者更加关注中央刺激外的信息(Rutherford, Richards, Moldes, & Sekuler, 2007)，这一视觉习惯会导致双眼不能有效加工重要的视觉信息。ASD 儿童异常的视觉特点与其大脑结构和功能异常密切相关。有研究显示，ASD 患者动态视觉精确性较差且易受到干扰，这一表现与小脑和脑干之间的回路异常有关(Schmitt, Cook, Sweeney, & Mosconi, 2014)。另一个潜在的机制是，ASD 患者在动态任务中表现出注意瞬脱效应的增强，

时间层面上的“视盲”程度更高(Amirault et al., 2009)，即他们会对于眼前的显著刺激或刺激变化视而不见，刺激对于他们来说是阶段性出现的，这可能会造成 ASD 患者在注视过程中伴随着视觉的变化，目标被注意到时，DBPR 变小，目标未被注意到时，DBPR 变大。

4.3 ASD 儿童平滑追踪中双眼注视点间距的鉴别意义

ASD 儿童 DBPR 在 6 种条件下均具有鉴别力，两种振幅，速度 7.5°/s 条件下，鉴别力是最高的，随着速度下降依次递减。在大振幅、速度 5°/s 和 7.5°/s 条件下鉴别力均在 0.9 以上，鉴别价值较高。研究结果表明，平滑追踪任务刺激可以作为 ASD 儿童视觉异常的鉴别诊断材料。作为非社交刺激材料，其具备操作简单、易获得、材料结构固定、易于比较的特点(Frazier et al., 2017)。

现阶段诊断 ASD 仍然停留在经验上的主观判断，诊断量表虽然具备很高的信效度，但在施测过程中免不了会受光环效应影响，并且 ASD 症状轻重程度判断的不确定性和操作上的难度会使误诊和漏诊的几率上升。相比之下，社会大众已经开始接受眼动技术作为鉴别的一种有效工具，其采集的眼动数据客观真实，生态效度有保障，可进行定性研究和纵向比较，数据记录也不容易丢失(邓铸, 2005)。一方面，ASD 儿童 DBPR 的鉴别价值是否存在于任何情境和任务中有待于进一步验证，也有必要对 DBPR 诊断价值的临床适用性进行进一步的探讨。另一方面，可识别的内在表型能够有效地揭示出 ASD 背后的病理机制，对于 ASD 的干预和分类是至关重要(Kumazaki et al., 2018)，DBPR 具有很大的鉴别潜力，可以作为临床上早期鉴别 ASD 的潜在生物反应性指标以及候选内表型。

本研究仅考察 DBPR 的鉴别意义，一方面是因为 DBPR 是本研究主要考察的指标，位置误差是用来验证所招募的被试是否存在斜视问题。另一方面，对位置误差的鉴别力进行了检验，相比之下，DBPR 的鉴别力水平更高，更具有鉴别价值。

4.4 ASD 儿童双眼注视点间距与 ABC 量表的相关性

考虑到 DBPR 相比位置误差更具有鉴别性，因此进一步探讨这一指标与 ABC 量表的相关性。结果显示，六种条件下的 DBPR 与量表总分呈显著的正相关，并且与感知觉维度也是呈显著正相关。数据结果显示在低速、小振幅的条件下，DBPR 与感知觉症状相关度最高，但该条件下的实验过程中 ASD 儿童更多的出现扭头、身体摆动的表现，并且该条件下 ASD 儿童注意力难以维持，这些表现会对 DBPR 结果产生影响。因此，这部分结果的真实性可能存在争议。相比之下，快速、大振幅条件下，ASD 儿童会被运动速度快的目标吸引，有效追踪的时间更长，注意力也更集中，其 DBPR 的差异更具有代表性。总的来说，DBPR 作为一个潜在的诊断指标同样也能够反映出 ASD 儿童感知觉异常的特点。日常生活中，ASD

儿童的家长或者照料者最容易观察到的就是其异常的感知觉表现(Baum et al., 2015; Marco, Hinkley, Hill, & Nagarajan, 2011),比如长时间注视旋转物体、对强光等刺激的敏感等。DSM–V中加入感知觉异常的诊断标准，也表明了感知觉异常在诊断中的重要性，DBPR 可以作为一个感知觉异常的指标进行临床上的辅助诊断。

4.5 研究局限与展望

本研究通过平滑追踪任务来探讨 ASD 儿童的 DBPR 特点，考察其临床应用的鉴别意义。但存在一些局限和不足，一方面，本研究未能对该指标的不同年龄层进行划分，儿童视觉各方面的发展在不同年龄段会有不同的表现(Mayer & Dobson, 1982; Aring, Grönlund, Hellström, & Ygge, 2007)，由于当前国内确诊儿童是否患有自闭症谱系障碍通常要到 3 周岁，故本研究未考察 3 岁以下儿童的视觉特点，不能从发展的角度来验证该指标的有效性。因此，未来研究需要关注更低龄的儿童，探索其 DBPR 随年龄发展的特点，以便为后期的鉴别诊断提供早期的依据。另一方面，本研究招募的为低功能 ASD 被试，难以进行智力匹配，但其智力水平可能会对研究结果造成影响(Chita–Tegmark, 2016; Frazier et al., 2017)。同时也未考察高功能 ASD 儿童是否也存在同样的视觉缺陷。高功能 ASD 语言功能较好，能够进行智力水平的评估，可以由此来考察智力水平与其 DBPR 之间存在的关系。未来研究需加入对高功能 ASD 儿童 DBPR 的探索，由此得出结果可能实现对疾病轻重程度和治疗效果的准确判断，有利于疾病分类以及早期干预的有效实施。

5 结论

ASD 儿童双眼视觉存在缺陷，与斜视无关，表现为双眼注视点间距过大。在大振幅、快速度的条件下，双眼注视点间距的鉴别价值最高，可以有效地反映出 ASD 儿童感知觉异常的特点。

参考文献

American Psychological Association.(2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th edn). Washington, DC: American Psychiatric Association.

Amirault, M., Etchegoyhen, K., Delord, S., Mendizabal, S., Kraushaar, C., Hesling, I., ... Mayo, W. (2009). Alteration of attentional blink in high functioning autism: a pilot study. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 39*(11), 1522–1528.

Aring, E., Grönlund, M. A., Hellström, A., & Ygge, J. (2007). Visual fixation development in children. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 245*(11), 1659–1665.

Baio, J., Wiggins, L., Christensen D. L., Maenner, M. J., Daniels, J., Warren, Z., ... Dowling, N. F.(2018). Prevalence of Autism Spectrum

Disorder Among Children Aged 8 Years–Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 Sites, United States, 2014. *MMWR–Morbidity and Mortality Weekly Report, 67*(45), 1280–1280.

Baum, S. H., Stevenson, R. A., & Wallace, M. T. (2015). Behavioral, perceptual, and neural alterations in sensory and multisensory function in autism spectrum disorder. *Progress in Neurobiology, 134*, 140–160.

Bylsma, F. W., & Pivik, R. T. (1989). The effects of background illumination and stimulant medication on smooth pursuit eye movements of hyperactive children. *Journal of Abnormal Child Psychology, 17*(1), 73–90.

Chakrabarti, B. (2017). Commentary: critical considerations for studying low–functioning autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 58*(4), 436–438.

Chen, F. H., Chen, S. S., & Zhao, G. P. (2016). The screening sensitivity of distance of two gaze points in children with autism spectrum disorders looking at cartoons. *Journal of Minnan Normal University(Nat. Sci), 29*(4), 101–106.

[陈飞虎, 陈顺森, 赵广平. (2016). ASD 儿童看动漫时注视点间距的筛查敏感性.*闽南师范大学学报(自然版), 29*(4), 101–106.]

Chen, S. S. (2017). *Social attention of autistic children: Face bias attention and processing.* Xiamen, China: Xiamen University Press.

[陈顺森. (2017). *自闭症儿童的社会性注意：面孔偏向注意与加工.* 厦门:厦门大学出版社.]

Chen, S. S., Lin, C. Y., & Ren, J. (2017). Motion features of stimuli modulate smooth pursuit eye movement of children with autism spectrum disorder. *Studies of Psychology and Behavior, 15*(3), 392–399.

[陈顺森, 林彩云, 任杰. (2017). 目标刺激运动特征对自闭症谱系障碍儿童平滑追踪眼动的影响.*心理与行为研究, 15*(3), 392–399.]

Chita–Tegmark, M. (2016). Social attention in ASD: a review and meta–analysis of eye–tracking studies. *Research in Developmental Disabilities, 48*, 79–93.

Deng, Z. (2005). Theories, techniques and applied researches about eye–movement psychology. *Journal of Nanjing Normal University(Social Science)*(1), 90–95.

[邓铸. (2005). 眼动心理学的理论、技术及应用研究.*南京师大学报(社会科学版)*(1), 90–95.]

Eagle, R. S. (2002). Accessing and assessing intelligence in individuals with lower functioning autism. *Journal on Developmental Disabilities, 9*(2), 45–53.

Falck–Ytter, T., Bölte, S., & Gredebäck, G. (2013). Eye tracking in early autism research. *Journal of Neurodevelopmental Disorders, 5*(1), 28.

Falck–Ytter, T., Carlström, C., & Johansson, M. (2015). Eye contact modulates cognitive processing differently in children with autism. *Child Development, 86*(1), 37–47.

Frazier, T. W., Klingemier, E. W., Beukemann, M., Speer, L., Markowitz, L., Parikh, S., ... Strauss, M. S. (2016). Development of an objective autism risk index using remote eye tracking. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 55*(4), 301–309.

Frazier, T. W., Strauss, M., Klingemier, E. W., Zetzer, E. E., Hardan, A. Y., Eng, C., & Youngstrom, E. A. (2017). A meta–analysis of gaze differences to social and nonsocial information between individuals with and without autism. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 56*(7), 546–555.

Gao, S. H., Chen, S. S., & Lin, C. Y. (2016).The screening value of distance between gaze points in children with autism spectrum disorders in the smooth pursuit task. *Journal of Minnan Normal University(Nat. Sci), 30*(3), 123–128.

[高世欢，陈顺森，林彩云.(2017). ASD 儿童平滑追踪任务中注视点间距的筛查价值.*闽南师范大学学报(自然版), 30*(3), 123–128.]

Gooding, D. C., Miller, M. D., & Kwapil, T. R. (2000). Smooth pursuit eye tracking and visual fixation in psychosis–prone individuals. *Psychiatry Research, 93*(1), 41–54.

Hadad, B., Schwartz, S., Maurer, D., & Lewis, T. L. (2015). Motion perception: a review of developmental changes and the role of early visual experience. *Frontiers in Integrative Neuroscience, 9*, 49.

Ikeda, J., Davitt, B. V., Ultmann, M., Maxim, R., & Cruz, O. A. (2013). Brief report: incidence of ophthalmologic disorders in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 43*(6), 1447–1451.

Kabatas, E. U., Ozer, P. A., Ertugrul, G. T., Kurtul, B. E., Bodur, S., & Alan, B. E. (2015). Initial ophthalmic findings in turkish children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 45*(8), 2578–2581.

Karatekin, C. (2007). Eye tracking studies of normative and atypical development. *Developmental Review, 27*(3), 283–348.

Krug, D. A., Arick, J., & Almond, P. (1980). Behavior checklist for identifying severely handicapped individuals with high levels of autistic behavior. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 21*(3), 221–229.

Kumazaki, H., Warren, Z., Swanson, A., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Ishiguro, H., ... Kikuchi, M. (2018). Impressions of humanness for android robot may represent an endophenotype for autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 48*(2), 632–634.

Lawson, R. P., Rees, G., & Friston, K. J. (2014). An aberrant precision account of autism. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 302.

Leekam, S. R., Nieto, C., Libby, S. J., Wing, L., & Gould, J. (2007). Describing the sensory abnormalities of children and adults with autism. *Journal of Autism and Developmental, 37*(5), 894–910.

Lemer, P. S. (2009). Seeing through new eyes: changing the lives of children with autism, asperger syndrome and other developmental disabilities through vision therapy. *Optometry–Journal of the American Optometric Association, 80*(10), 547–548.

Li, L. Z. (2017). *The value of distance of binoculus gaze point of children with autism spectrum disorder processing the scene in differential diagnosis.* Unpublished master's thesis. Minnan Normal University.

[李龙珠. (2017). *自闭症谱系障碍儿童场景加工时双眼注视点间距的鉴别价值.* 硕士学位论文. 闽南师范大学.]

Liang, L. (2015). *Autistic children's visual attention shift and disengagement to circumscribe interests: Evidence from an eye-tracking study.* Unpublished master's thesis. Central China Normal University.

[梁良. (2015). 孤独症儿童对限制性兴趣刺激的视觉注意：来自眼动实验的证据. 硕士学位论文. 华中师范大学.]

Marco, E. J., Hinkley, L. B. N., Hill, S. S., & Nagarajan, S. S. (2011). Sensory processing in autism: a review of neurophysiologic findings.*Pediatric Research, 69*(5), 48R–54R.

Mayer, D. L., & Dobson, V. (1982). Visual acuity development in infants and young children, as assessed by operant preferential looking. *Vision Research, 22*(9), 1141–1151.

McCleery, J. P., Allman, E., Carver, L. J., & Dobkins, K. R. (2007). Abnormal magnocellular pathway visual processing in infants at risk for autism. *Biological Psychiatry, 62*(9), 1007–1014.

Moore, A., Wozniak, M., Yousef, A., Barnes, C. C., Cha, D., Courchesne, E., & Pierce, K. (2018). The geometric preference subtype in ASD: identifying a consistent, early–emerging phenomenon through eye tracking. *Molecular Autism, 9*(1), 19.

Moriuchi, J. M., Klin, A., & Jones, W. (2017). Mechanisms of diminished attention to eyes in autism. *American Journal of Psychiatry, 174*(1), 26–35.

Pierce, K., Marinero, S., Hazin, R., Mckenna, B., Barnes, C. C., & Malige, A. (2016). Eye–tracking reveals abnormal visual preference for geometric images as an early biomarker of an ASD subtype associated with increased symptom severity. *Biological Psychiatry, 79*(8), 657–666.

Rutherford, M. D., Richards, E. D., Moldes, V., & Sekuler, A. B. (2007). Evidence of a divided–attention advantage in autism. *Cognitive Neuropsychology, 24*(5), 505–515.

Saisara, U., Boonbrahm, P., & Chaiwiriya, A. (2017). Strabismus screening by Eye Tracker and games. *2017 4th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)* (pp. 1–5*)*. Nakhon Si Thammarat, Thailand, IEEE.

Schmitt, L. M., Cook, E. H., Sweeney, J. A., & Mosconi, M. W. (2014). Saccadic eye movement abnormalities in autism spectrum disorder indicate dysfunctions in cerebellum and brainstem. *Molecular Autism,5*(1), 47.

Schopler, E., Reichler, R. J., Devellis, R. F., & Daly, K. (1980). Toward objective classification of childhood autism–childhood autism rating–scale (CARS). *Journal of Autism and Developmental Disorders, 10*(1), 91–103.

Shi, H. F., Zhang, J. X., Zhang, R., & Wang, X. L. (2017). Prevalence of autism spectrum disorders in children aged 0–6 years in China : a meta–analysis. *Journal of Peking University (Health Science), 49*(5), 798–806.

[石慧峰, 张敬旭, 张嵘, 王晓莉. (2017). 中国 0～6 岁儿童孤独症谱系障碍患病率的 meta 分析. *北京大学学报(医学版), 49*(5), 798–806.]

Takarae, Y., Luna, B., Minshew, N. J., & Sweeney, J. A. (2008). Patterns of visual sensory and sensorimotor abnormalities in autism vary in relation to history of early language delay. *Journal of the International Neuropsychological Society, 14*(6), 980–989.

Takarae, Y., Minshew, N. J., Luna, B., Krisky, C. M., & Sweeney, J. A. (2004). Pursuit eye movement deficits in autism. *Brian, 127*(12), 2584–2594.

Valakos, D., Karantinos, T., Evdokimidis, I., Stefanis, N. C., Avramopoulos, D., & Smyrnis, N. (2018). Shared variance of oculomotor phenotypes in a large sample of healthy young men. *Experimental Brain Research, 236*(8), 2399–2410.

Villalobos, M. E., Mizuno, A., Dahl, B. C., Kemmotsu, N., & Müller, R. A. (2005). Reduced functional connectivity between v1 and inferior frontal cortex associated with visuomotor performance in autism. *Neuroimage, 25*(3), 916–925.

Wang, Q., Hu, Y., Shi, D., Zhang, Y., Zou, X., & Li, S., ... Yi, L. (2018). Children with autism spectrum disorder prefer looking at repetitive movements in a preferential looking paradigm. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 48*(8), 2821–2831.

Wass, S. V., Jones, E. J., Gliga, T., Smith, T. J., Charman, T., & Johnson, M. H. (2015). Shorter spontaneous fixation durations in infants with later emerging autism. *Scientific Reports, 5*, 8284.

Wu, C. C., Cao, B., Dali, V., Gagliardi, C., Barthelemy, O. J., Salazar, R. D., ... Yazdanbakhsh, A. (2018). Eye movement control during visual pursuit in parkinson's disease. *PeerJ, 6,* e5424.

Zhang, F. H. (1993). Diagnosis and treatment of diplopia. *Chinese Journal of Medicine, 28*(12), 11–14.

[张方华. (1993). 复视的诊断与治疗. *中国医刊, 28*(12), 11–14.]

Zhang, W. T., & Yan, J. (2004). *Basic course of SPSS statistical analysis.* Beijing, China: Higher Education Press.

[张文彤, 闫洁. (2004). *SPSS 统计分析基础教程.* 北京: 高等教育出版社.]

Characteristics and significance of binocular point of regard in children with autism having normal vision

GAO Shihuan[1,2]; CHEN Shunsen[1]; SU Yanjie[2]; LIN Caiyun[3]

([1]College of Education Science, Minnan Normal University, Zhangzhou, Fujian, 363000) ([2]School of Psychological and Cognitive Sciences Peking University, Beijing, 100871); ([3]Center of Mental Health Education and Counseling, Guangdong University of Finance, Guangzhou, Guangdong, 510521)

Abstract

Perception disorders, especially those of vision, in individuals with autism spectrum disorder (ASD) have a significant diagnostic value. Earlier studies have shown that both adults and children with ASD have vision disorders, like double vision, strabismus, amblyopia, etc., which may cause difficulties in processing visual information. Smooth pursuit eye movement (SPEM) can be used to research perception and processing of motion information that track the target's movement. Failure of visual processing of motion stimuli in individuals with ASD was reported in several earlier studies. There is little existing knowledge about the mechanism underlying the failure to effectively perform visual tracking in individuals with ASD. Given the visual problems

of these individuals, we supposed that dysfunction of binocular fusion affects the ability to track targets precisely. Distance between the external fixation points corresponding to the object image on the retina, that is, the distance of the binocular point of regard (DBPR) is abnormal in ASD. Some studies reported that irrespective of static or dynamic stimuli, the DBPR in children with ASD is significantly greater than that of typically developing (TD) children. Therefore, we investigated the visual mechanism and identification value of the DBPR in children with ASD, using a smooth–tracking task.

We designed a study to test the visual mechanism and identification value of the DBPR in children with ASD during dynamic stimulation processing. We recruited 25 children with ASD, aged 3 to 6 years, and 25 TD children of corresponding age, who were made to watch 6 smooth-tracking task videos of sinusoidal motion of a small black sphere, which were recorded along with the original coordinates of binocular vision through an eye tracker. We compared differences in TD children and those with ASD, by calculating the position error and DBPR in 6 conditions.

The results showed that: (1) the DBPR in children with ASD is abnormal, and is independent of strabismus, (2) compared with TD children, whose average DBPR value is less than 30 pixels, the DBPR in children with ASD is higher. Average DBPR value in children with ASD is greater than 35 pixels and has cross–task stability, (3) the DBPR in children with ASD has good identification ability in all six conditions, especially under the conditions of highest amplitude and speed, and (4) the DBPR is significantly positively correlated with gross score of the autism behavior checklist (ABC) and dimension of sensation, showing that it can be used as an identification index to measure abnormal perception in children with ASD.

In conclusion, compared with TD children, the DBPR in those with ASD reflects the defect of binocular vision and has cross–task stability. It has good identification value under the conditions of fastest speed and highest amplitude.

Key words autism spectrum disorder; smooth tracking; distance of the binocular point of regard.